

# ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ КЕРАМОКОМПОЗИТНАЯ БРОНЯ ПЛАВАЮЩЕГО БРОНЕАВТОМОБИЛЯ

Бронирование автомобилей и, в особенности, плавающих, требует использования современных материалов, которые отличаются низкой плотностью и высокой прочностью: керамики, титановых или алюминиевых сплавов, волокнистых композитов. Традиционный эмпирический подход к проектированию брони – масштабные экспериментальные исследования, в которых варьируется химический состав металла, способ термообработки, толщина и комбинация материалов в слоях бронепанели – является очень долгим и финансово затратным.

Руководитель проекта - д.т.н. С.Б. Сапожников

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка интегральной брони минимальной массы и заданной пулестойкости, отличающейся тем, что в ее составе вместе с керамическими дискретными элементами имеются прессованные волокнистые композиты и сэндвич-структуры

## ПУБЛИКАЦИИ

9 научных статей

1 научный доклад

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

5 статей в Web of Science

4 статьи в SCOPUS

6 статей в РИНЦ

## ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА

Для ускорения процесса разработки новой брони оптимальной структуры предложено центр тяжести работ перенести с экспериментов на детализированные расчеты ударного деформирования и разрушения методом конечных элементов слоистых преград из керамики и композитных материалов на основе термореактивной и термопластичной матриц. Эти материалы имеют малую плотность и высокую скорость распространения упругих волн, что важно для эффективного рассеяния энергии пули материалом брони.

Предлагаемая слоистая керамокомпозитная конструкция предназначена не только рассеивать энергию бронебойной пули, но и обеспечивать прочность и жесткость каркаса транспортного средства. Совмещение специальных и конструктивных функций позволяет существенно снизить массу единицы площади защищаемой поверхности, что особенно важно для скоростных плавающих броневых автомобилей.

Слоистая броня – это не арифметическая сумма элементов, каждый из которых работает независимо. От того, какой материал является тыльным, зависит способность керамики сопротивляться действию локальной ударной нагрузки. Например, корундовая керамика имеет скорость звука около 10 км/с, тогда как сталь, титан или алюминий – всего лишь 5 км/с. На границе раздела происходит преломление ударных волн, керамика частично разгружается, перестает сопротивляться удару и, переходя в квазистатический режим нагружения, разрушается. Металлическая подложка интенсивно нагружается, возникают пластические деформации, область рассеяния энергии локализуется, способствуя пробоем. При использовании вместо стали сверхвысокомолекулярного полиэтилена, у которого плотность ниже 1 г/куб.см, скорость звука составляет около 12 км/с. В этом случае

граница керамики с такой подложкой становится "прозрачной" и динамическая фаза работы керамики значительно удлиняется, обеспечивая условия для более интенсивного торможения бронебойной пули. Более того, объем материала полимерной брони, рассеявший энергию пули, намного превосходит объем нагруженного материала в случае использования стали, что снижает требования к прочностным характеристикам подложки.

Подробное описание преимуществ современных волокнистых композитов необходимо, чтобы осознанно применять эти материалы в составе новых бронеструктур. Керамика, композиты – весьма дорогие материалы, однако, при правильно спроектированной структуре масса одного квадратного метра такой брони может быть практически вдвое меньше массы аналогичной металлической брони.

Важно подчеркнуть, что область рассеяния энергии пули композитной броней намного больше, чем у стали, поэтому при многократных ударах возможна ситуация, когда вторая или третья пуля попадают в область повреждений, созданную первым ударом. Возможен пробой. В случае металлических преград, которые тяжелее композитных, допустимая плотность ударов может оказаться выше. Иными словами, задавая высокие требования по живучести (кратности ударов в 1 кв. дм), можно получить решение, в котором композитам не будет места, а масса брони будет неприемлемо высокой. Комбинируя ограничения по ударопрочности, массе и живучести, можно отыскать оптимальное техническое решение.

В комплексе с проблемами минимума массы стоит упомянуть и проблему радиолокационной и инфракрасной заметности транспортного средства. Если металлические "коробки" заметны издали, то композитные практически радиопрозрачны. Для ИК-незаметности фактор меньшей теплопроводности композитов по сравнению с металлами также интересен для новой брони. Таким образом, интегральная керамокомпозитная броня может обеспечить малую радио- и



ИК заметность (вариант "стелс-технологии") и позволяет безопасно приблизиться к противнику для высадки десанта. Незаметность обеспечит бесшумность передвижения, если использовать электрическую трансмиссию вкпе с гибридной (дизель-электрической) силовой установкой, что снизит расход топлива и повысит дальность автономной работы.

Низкая масса броневедомобиля позволит двигаться с высокой скоростью и по воде, выходя на режим глиссирования. В этом режиме высокое начальное гидросопротивление преодолевается ракетным бустером на твердом топливе, который после отработки сбрасывается.

Предлагаемые технические решения являются новыми, неиспользованными до настоящего времени в конструкциях плавающих броневедомобилей. Проект является поисковой работой, в которой будут решены фундаментальные проблемы математического моделирования слоистых преград, работающих в условиях локального удара, и состоящих из керамики и композитов; оптимизации этих преград под заданное воздействие с использованием суперкомпьютерных ресурсов ЮУрГУ; будут выполнены исследования по реализуемости глиссирующего режима вместе с гибридным электроприводом и мотор-колесами для скоростного движения броневедомобиля по воде и пересеченной местности.

## НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

Проект рассчитан на три года. За шесть месяцев 2014 года были созданы численные модели волокнистых композитов и керамики (с использованием стохастической воксельной схемы) для прогноза их баллистических свойств (построение баллистических кривых с определением предельной скорости пробоя); проведена экспериментальная верификация этих моделей, для чего изготовлены и испытаны образцы нанокерамики и прессованных термопластичных композитов на оригинальном баллистическом стенде.

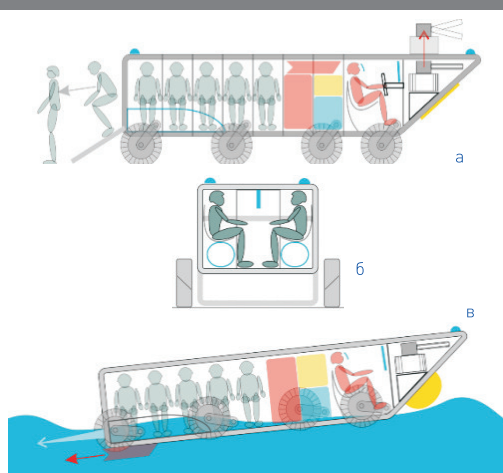


Рис. 1. Схема плавающего броневедомобиля:  
а-наземная конфигурация;  
б-разрез по боевому отделению;  
в - колеса в верхнем положении для глиссирования (показан установленный под днищем реактивный бустер [РДТТ] и водомет для выхода на глиссирование)

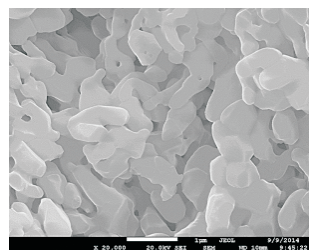


Рис. 2. Структура новой горячепрессованной (1200°С) корундовой нанокерамики

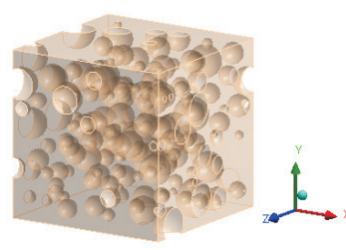


Рис. 3. 3D-модель структуры пористой нанокерамики (пакет SolidWorks)

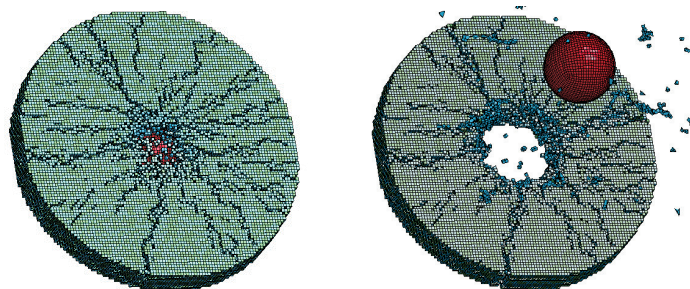


Рис. 4. Моделирование разрушения керамики по воксельной схеме со стохастическим распределением локальных механических свойств

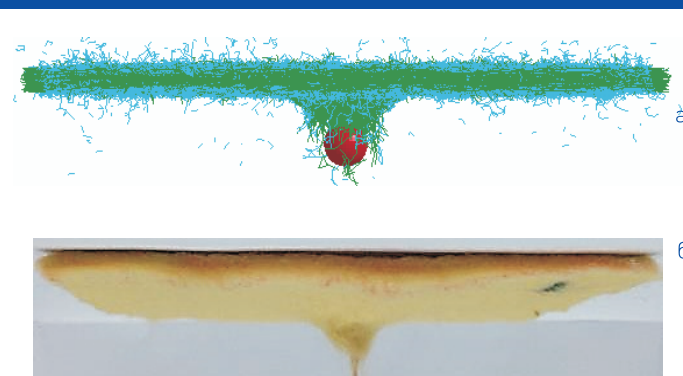


Рис. 5. Модель баллистического войлока (а) и экспериментальный результат пробоя (б)

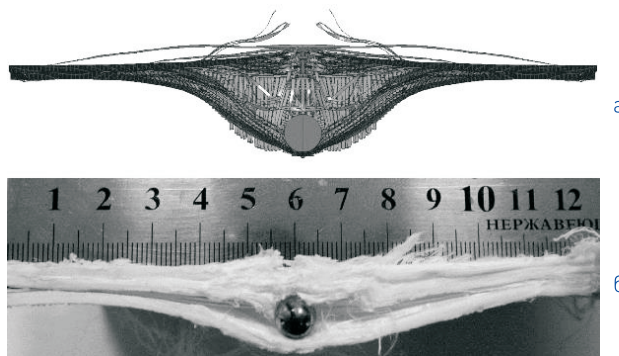


Рис. 6. LS-DYNA моделирование (а) и результат эксперимента (б) пробоя композитной панели

